

Università di Pisa – Facoltà di Agraria

Corso di Laurea Specialistica

in

Agricoltura Biologica e Multifunzionale

curriculum Agricoltura Multifunzionale

Elaborato finale

Realizzazione di un prototipo da laboratorio per lo studio della produzione di biogas da fermentazioni di biomasse

Relatori:

Prof. Marcello Mele

Prof. Marco Mazzoncini

Candidato:

Sergio Cattani

Anno Accademico 2009-2010



Università di Pisa – Facoltà di Agraria

Corso di Laurea Specialistica

in

Agricoltura Biologica e Multifunzionale

curriculum Agricoltura Multifunzionale

Elaborato finale

Realizzazione di un prototipo da laboratorio per lo studio della produzione di biogas da fermentazioni di biomasse

Relatori:

Prof. Marcello Mele

.....

Prof. Marco Mazzoncini

.....

Candidato:

Sergio Cattani

.....

Anno Accademico 2009-2010

INDICE

<u>Introduzione</u>	<u>pag. 6</u>
<u>Capitolo 1 - Il prototipo</u>	<u>pag. 20</u>
<u>Capitolo 2 - La progettazione</u>	<u>pag. 24</u>
<u>Capitolo 3 - Il funzionamento</u>	<u>pag. 32</u>
<u>Capitolo 4 - La quantificazione del gas prodotto</u>	<u>pag. 36</u>
<u>Capitolo 5 - Descrizione delle prove eseguite</u>	<u>pag. 38</u>
<u>Capitolo 6 - Verifica dei dati ottenuti</u>	<u>pag. 42</u>
<u>Capitolo 7 - Conclusioni e prospettive</u>	<u>pag. 48</u>
<u>Bibliografia</u>	<u>pag. 50</u>

Introduzione

Le produzioni agricole, la trasformazione dei prodotti di origine animale in prodotti alimentari e, negli ultimi tempi, anche la lavorazione di colture no food generano sottoprodotti che spesso, per il loro corretto smaltimento, presentano un'elevata onerosità e difficoltà burocratica. Eppure alcuni di questi derivati potrebbero trovare un percorso di valorizzazione, più o meno completo, presso lo stesso trasformatore, fino a raggiungere addirittura la chiusura del ciclo produttivo passando quindi da "problema" a "nuova risorsa".

Tra le varie tipologie di impiego alternativo che possono portare alla valorizzazione dei sottoprodotti dell'industria agroalimentare, c'è quella che prevede il loro utilizzo come fonti energetiche alternative che, secondo le tre principali associazioni industriali italiane sulle biomasse ITABIA, Aper e Fiper, si attestano a ben 5 milioni di tonnellate di petrolio equivalenti (MTEP) potenziali ottenibili dai soli scarti dell'agricoltura e dell'agro-industria e 10-12 MTEP dai rifiuti della zootecnia. Questi dati devono poi essere integrati da altre voci della medesima stima che individuano valori di energia in petrolio equivalente di 4,3 MTEP ottenibili della silvicoltura e dell'industria del legno, da 3 a 5 MTEP da culture dedicate alle bioenergie ed infine altri 0,3MTEP annuali ottenibili dalle discariche sempre sotto forma di biogas. Il potenziale in biomasse del nostro Paese si attesta, sempre in base a tale stima tra i 24 e i 28 milioni di MTEP annui, una risorsa pari a circa la produzione di uno stato petrolifero come l'Ecuador ma di cui nel 2008 solamente 1/5 è stato sfruttato [fonte www.key4biz.it].

Tale fine può essere raggiunto adottando diverse metodologie, una di queste è la digestione anaerobica, sistema che è in grado di utilizzare una grande varietà di tipi di substrati, ricavabili da svariati processi produttivi agricoli e dell'industria alimentare per produrre biogas.

Di seguito è riportata una tabella illustrativa che esplicita le potenzialità produttive di biogas dei diversi substrati utilizzabili.

Materiali	m³ biogas/t SV (*)
Deiezioni animali (suini, bovini, avicunicoli)	200 - 500
Culture energetiche (mais, sorgo zuccherino, erba, ecc.)	550 - 750
Residui colturali (paglia, collietti barbabietole ecc.)	350 - 400
Scarti organici agroindustria (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi e reflui di distillerie, birrerie e cantine ecc.)	400 - 800
Scarti organici macellazione (grassi, contenuto stomacale ed intestinale, sangue, fanghi di flottazione ecc.)	550 - 1.000
Fanghi di depurazione	250 - 350
Frazione organica di rifiuti urbani	400 - 600

(*) Solidi volatili: frazione della sostanza secca costituita da sostanza organica

Fig1 - Biomasse e rifiuti organici per la digestione anaerobica e loro resa indicativa in biogas sui solidi volatili (elaborazione CRPA su fonti diverse)

In Italia vi sono oltre 120 impianti anaerobici che stabilizzano fanghi di depurazione civile, e più di 20 che sono operativi su reflui agroindustriali di distillerie e di impianti per il confezionamento di succhi di frutta e altri prodotti (vedi Fig.2).

L'EurObserv'ER nel 2006 indicava per il nostro Paese una produzione di biogas di 353.8 ktep (circa 4 TWh). Tale valutazione già per il 2007 vedeva una correzione in positivo rivalutando la nostra produzione innalzandola a 406.2 ktep (circa 4.7 TWh).



Fig2 - Categorie impianti biogas 2007.

Rielaborato da: "Biogas in Italia stato dell'arte" Fieragricola Verona - Bioenergy World Europe 2008.

Il GSE riporta sempre per l'anno 2007 una produzione di energia elettrica da biogas di 1.45 TWh.

Per l'Italia sono state fatte inoltre delle stime che esprimono le potenzialità produttive in termini di Biogas: è stato quindi individuata una potenzialità di 8 miliardi di metri cubi di gas metano all'anno ovvero 25 TWh anno di energia elettrica [fonte: C.R.P.A.]; una produzione maggiore della centrale termoelettrica Eugenio Montale di La Spezia, una delle più grandi in Italia, che con una potenza installata di 1300 MW ha una produzione annua di circa 8TWh, pari a circa il 3% del fabbisogno nazionale.

Va inoltre considerato che il biogas rappresenta una risorsa molto versatile poiché può essere utilizzato per molti scopi come l'utilizzazione diretta per la produzione di energia elettrica e termica in impianti cogenerativi o trigenerativi di diverse dimensioni, oppure

impresso in rete come biometano in grado di poter sostituire circa il 10% del gas naturale nella maggior parte dei Paesi Europei o usato ancora nell'autotrazione per i veicoli ,come già viene fatto nel Nord Europa.

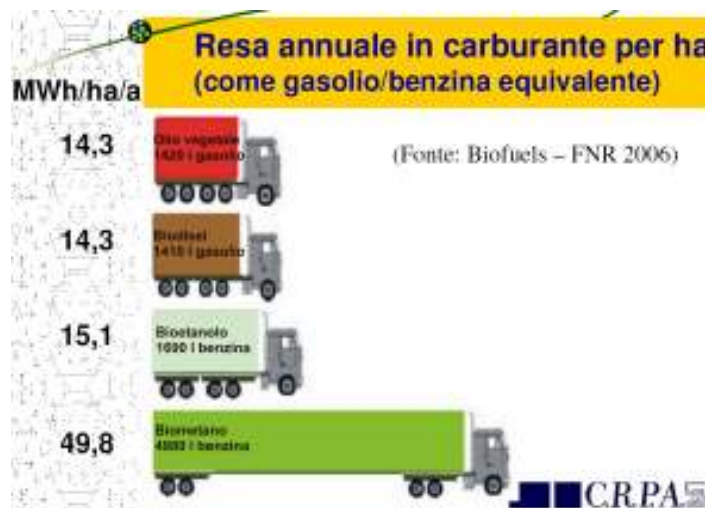


Fig3 - Confronto tra le rese ad ettaro per i principali biocombustibili per autotrazione. Rielaborato da: C.R.P.A. Biofuels– FNR 2006

Proprio a tal riguardo è stato stimato come il biogas abbia una resa annuale in carburante per ettaro, come gasolio o benzina equivalente, molto più elevata rispetto alle altre filiere bioenergetiche oggi presenti.

Da anni il processo della digestione anaerobica viene applicato in maniera sempre più tecnologica nel settore degli allevamenti, ove è adottata per smaltire i liquami animali riuscendo a evitare inconvenienti sgradevoli, come le emissioni maleodoranti, e a fornire un'alternativa per ovviare alle varie problematiche correlate allo

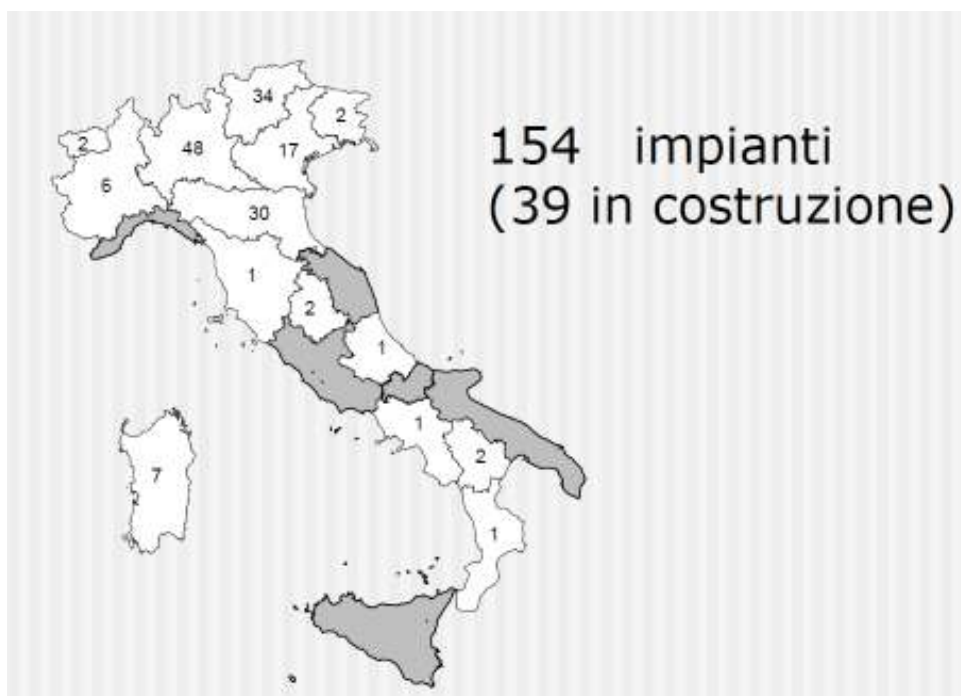


Fig4 - Censimento impianti Biogas 2007. Rielaborato da: fonte C.R.P.A.

spargimento sul terreno, che comporta sempre il rischio di un inquinamento delle falde idriche causata dalla percolazione. Il maggior numero di impianti che ricavano biogas dalla stabilizzazione dei liquami degli allevamenti sono distribuiti nel nord Italia, soprattutto nelle regioni dell'Emilia Romagna e della Lombardia.

Il Centro Ricerche Riproduzioni Animali (C.R.P.A.) ha individuato, nell'anno 2007, 154 impianti di cui 39 erano in fase di autorizzazione o di costruzione (Fig. 4)

Sono stati anche rilevati altri dati come l'età degli impianti, la tipologia di substrato utilizzato e la potenza elettrica installata (vedi tabelle di figura 5).

età impianti	n° impianti
> di 16 anni	10
tra i 5 e 15 anni	59
meno di 5 anni	31
Operativi (dato Età non disponibile)	15
Totale	115
In costruzione	22
In fase di autorizzazione	17
Totale	154

Tipologia di substrato trattato	Impianti (n.)
Solo liquame suino	44
Solo liquame bovino	38
Liquame suino + liquame bovino	5
Liquame bovino e/o suino e/o pollina + scarti organici + colture energetiche	35
Liquame bovino e/o suino e/o pollina + colture energetiche	20
Colture energetiche e/o scarti organici	9
Pollina + scarti organici e/o colture energetiche	3
Totale	154

Potenza elettrica	Impianti (n.)
< 100 kWe	44
110 - 500 kWe	28
500 – 1.000 kWe	19
>1 MWe	14
Biogas in caldaia	8
Dato non disponibile	41
Totale	154

Fig.5 - Tabelle dati riassuntivi caratterizzazione impianti biogas censiti 2007. Potenza elettrica installata circa 49MW. Rielaborato da: fonte C.R.P.A.

Come si può osservare nelle tabelle seguenti negli ultimi quindici anni c'è stato un trend crescente nella costruzione degli impianti . Più della metà di questi, inoltre, utilizza reflui zootecnici con substrato, a testimonianza che tale materiale rappresenta un problema stringente nel Nord Italia, cui si sta cercando di dare una soluzione anche mediante queste forme di utilizzazione.

Questo crescente interesse riguardo la produzione di energia da fonti rinnovabili e il vantaggio di recuperare energia da materiali di norma considerati "rifiuto", continuano a spingere molte ditte a sviluppare impianti anaerobici via via sempre più performanti e specifici.

Questo fatto ha portato con sé un risvolto negativo.

L'incremento delle prestazioni di tali impianti ha reso necessario l'utilizzo di coltivazioni ad hoc per il loro funzionamento ottimale, richiedendo spesso una modifica più o meno marcata dei tradizionali piani colturali là dove le aziende agricole, che disponevano di condizioni agro climatiche favorevoli, hanno deciso di orientare il loro obiettivo produttivo verso le produzioni no food per fini energetici, destinando quindi maggiori superfici per le colture necessarie al corretto approvvigionamento dell'impianto scelto, a discapito delle colture praticate solitamente.

Facile quindi pensare come la scelta dell'adozione di un impianto che prima rivalutava il sottoprodotto presente in azienda (es. liquami zootecnici in generale), possa esser diventato, con il tempo, l'obiettivo principale o quantomeno abbia acquistato un forte inte-

resse per l'azienda stessa che, sempre in nome dell'efficienza, ha provveduto a mettere in campo colture specifiche, in quantità adeguate al funzionamento dell'impianto anaerobico, come il trinciato di mais.

Scelte sicuramente influenzate dalla possibilità di perseguire nuove opportunità produttive per l'agricoltura, in forza anche del carattere multifunzionale che hanno assunto le aziende agricole negli ultimi anni, a seguito di quanto è stato promosso con la Strategia per lo Sviluppo Rurale 2007 – 2013 della Politica Agricola Comune che individua tre obiettivi generali: 1) migliorare la competitività del settore agricolo e forestale; 2) valorizzare l'ambiente e lo spazio rurale attraverso la gestione del territorio; 3) migliorare la qualità della vita nelle zone rurali e promuovere la diversificazione delle attività economiche. Si tenga conto, inoltre, che la produzione di energia da fonti rinnovabili è diventata voce di reddito agricolo a partire dal 2005 con la legge n 266 della finanziaria 2006.

Implicazioni morali, sullo sfruttamento del terreno agricolo per colture no food con conseguenti speculazioni sul mercato, reali o false, accompagnano l'opinione pubblica là dove si attuano tali politiche produttive in modo incisivo, tanto da porre tale argomento al centro di dibattiti e studi che simulano scenari per comprendere quanto sia giusto la conversione di superfici agricole per tale fine energetico, come nel caso di uno studio eseguito di recente (Roe et al 2006) ma anche nel meeting della FAO del 2007 che sottolineava come la sicurezza alimentare di alcuni Paesi potrebbe essere messa in crisi a seconda delle scelte politiche sulla tipologia di fonte agroenergetica da utilizzare; infatti se da un lato la produzione di un certo tipo di combustibile alternativo potrebbe aggravare le condi-

zioni alimentari di tali Paesi, l'orientarsi su altre tipologie utilizzabili a tale scopo potrebbe portare un miglioramento nelle condizioni di vita degli stessi abitanti [FAO2007 "*Assessment of the World Food Security Situation*"; ad esse si possono aggiungere anche considerazioni sul piano agro-ecologico per quanto riguarda la correttezza di metodi produttivi e la ricaduta sulla salute del terreno, in termini di fertilità, struttura etc.[*agrireregionieuropa.univpm.it Annalisa Zezza*] come messo in evidenza dallo studio dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) del 2006 che evidenziava proprio il problema della reale sostenibilità ambientale di alcune tipologie di fonti rinnovabili, e cioè che l'utilizzo dei biocarburanti appare giustificato dal lato ambientale, sulla base della riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra e quindi del minor costo sostenuto dalla collettività per il loro abbattimento, ma che non bisogna sottovalutare né le emissioni di gas serra per la fase della produzione della materia prima da utilizzare come fonte energetica, né il fatto che un incremento della sua richiesta può portare a una maggiore pressione sull'ambiente dovuta principalmente a :

- aumento della domanda di prodotti agricoli e conseguente intensificazione dei processi produttivi;
- incentivazione alla trasformazione delle aree coltivate in modo estensivo verso superfici a seminato destinate alla produzione di materia prima bioenergetica;
- scelte produttive inappropriate che non tengono conto delle specifiche pressioni ambientali delle varie colture in un determinato contesto territoriale.

I processi sopra descritti potrebbero pertanto generare effetti ambientali negativi in termini di erosione dei suoli, compattazione dei terreni, rilascio di nutrienti e pesticidi nel terreno e nelle acque, maggiore domanda di acqua a scopo irriguo, perdita di biodiversità

[EEA 2006 *“How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?”*].

Si possono aggiungere ulteriori considerazioni che riguardano le modalità con cui oggi dovremmo produrre e consumare energia termica o elettrica per una maggiore eco compatibilità dei consumi in quanto è stato già stato messo in evidenza come ci sia la necessità di avvicinare i luoghi di produzione di energia ai posti di consumo passando da un sistema di generazione centralizzato sostenuto da una rete di distribuzione unidirezionale e passiva, ormai obsoleto e non più necessario, ad un sistema diffuso sul territorio si può ovviare ad una sequenza di sprechi economici ed energetici, come la dispersione energetica nei cavidotti, stimata nel 7% dell'energia elettrica trasportata. Bisogna considerare, inoltre, che il costo di realizzazione e manutenzione della rete di distribuzione è un grossa voce di spesa che tutti i cittadini si ritrovano in bolletta. Infine, la generazione distribuita consente un sicuro utilizzo del calore di scarto dei processi di combustione. “Nella maggior parte delle grandi centrali termoelettriche, circa 2/3 dell'energia primaria contenuta nel combustibile viene sprecata ed esce dal camino sotto forma di calore inutilizzato. Ricorrendo invece a piccoli impianti a biomassa e di micro-cogenerazione diffusi sul territorio, si possono anche assicurare le condizioni economiche e tecniche ideali per sistemi di teleriscaldamento e di distribuzione del calore su brevi distanze, per utenze residenziali, industriali e del terziario.” [Filippo Franchetto: “La generazione distribuita di energia: decentramento, smart grid e democrazia energetica.”]

Tenendo anche presente gli studi fatti in ambiti diversi che hanno portato alla definizione di indici quali l'impronta ecologica⁽¹⁾, la produzione a km 0 e le produzioni locali, studi che si possono estendere al settore della produzione energetica, per quanto non siano direttamente legati ad esso ma bensì allo stile di vita delle popolazioni, ai loro consumi e al loro sistema di lavoro e di produzione, risulta auspicabile che si dovrebbe ridimensionare il modo con cui anche l'energia da fonti rinnovabili debba essere prodotta e utilizzata.

Gli indici sopra indicati mettono in luce come la produzione e l'utilizzo di un qualsiasi bene in un' area limitata porti ad una maggiore sostenibilità, si dovrebbe quindi favorire, senza stravolgere la realtà esistente, la comparsa di piccoli e piccolissimi sistemi energetici che suppliscano, con una percentuale variabile, alla fornitura di energia come già in passato si osservava con i piccoli impianti idroelettrici, di cui l'Italia era ricca, collocati nelle località montane o vicine alle piccole industrie e che ultimamente sono stati rivalutati.

Quindi sarebbero auspicabili sistemi mirati ad adeguarsi agli equilibri produttivi esistenti e che si riassocino al concetto di rivalutazione e non di produzione.

Un approccio corretto alla realizzazione di questi impianti diffusi sul territorio dovrebbe prevedere uno studio preliminare che, tenen-

¹L'Impronta Ecologica è stata introdotta da Wackernagel e Rees dell'Università della British Columbia, Canada, a partire dagli anni '90. Si tratta di un sistema di contabilità ambientale in grado di stimare la quantità di risorse rinnovabili che una popolazione utilizza per vivere, calcolando l'area totale di ecosistemi terrestri e acquatici necessaria per fornire, in modo sostenibile, le risorse utilizzate e per assorbire, sempre in modo sostenibile, le emissioni prodotte. La formulazione teorica dell'Impronta Ecologica considera quindi l'insieme dei servizi ecologici che concorrono al mantenimento di una popolazione: sia quelli "a monte" che permettono l'estrazione di risorse dall'ambiente, sia quelli "a valle" che consentono la depurazione delle emissioni.

do conto del luogo dove si vorrebbe realizzare una certa tipologia d'impianto energetico, delle sue potenzialità, dei suoi equilibri e delle sue tradizioni, oltre che dell'aspetto paesaggistico, stimi il quantitativo e la tipologia di biomassa disponibile nella zona e, in base a questa, individui e dimensioni l'impianto adatto, così da garantire e mantenere realmente un approccio più sostenibile dell'intero sistema.

Tale metodo di indagine può essere adottato per valutare aree di impiego ben circoscritte come potrebbe essere un'area agricola adiacente ad una città, ma anche una singola azienda.

Impianti che garantiscano l'autoconsumo, una piccola sovrapproduzione, oppure in altri casi un supporto, possono presentare costi d'investimento minore e quindi aver maggiore appetibilità per le scelte degli imprenditori agricoli, perché abbassano uno dei maggiori ostacoli che questa tipologia d'investimento sulle fonti alternative presenta, cioè il notevole costo iniziale degli impianti rispetto a quelli tradizionali, elemento che seppur contrastato da una convenienza di gestione nel tempo, appare agli occhi di chi deve esporsi un elemento di scelta prioritario, considerando anche che questi impianti vengono ancora oggi visti come "novità" e quindi con un margine di dubbio sul loro funzionamento.

L'aspetto dell'economicità di soluzioni impiantistiche per la rivalutazione degli scarti produttivi e conseguente produzione di Biogas è stato anche messo in evidenza da uno studio pubblicato su di una rivista di settore dell' Emilia Romagna a cura del C.R.P.A.

Messe a confronto le tre tipologie di filiera energetica (Biogas, Olio, Legno) si dimostra come la filiera del biogas risulti comunque economicamente competitiva con quella dell'olio, seppur presenti un rendimento inferiore di 8 punti percentuali sull'investimento iniziale.

Indici	Unità di misura	Biogas	Olio	Legno
Margine operativo netto	€	766.550	107.443	2.751
Tempo di ritorno dell'investimento	Anni	6,37	4,7	14,44
Valore attuale netto (*)	€	5.271.693	665.723	1.576
Tasso interno di rendimento	%	15,9%	23%	5,5%

(*) Saggio di attualizzazione = 5%.

Fig6 - Indicatori finanziari utilizzati per valutare la sostenibilità economica delle filiere energetiche. Rielaborato da: "I Supplementi di Agricoltura n° 41"

Parametri	Unità di misura	Biogas	Olio	Legno
Superficie investita	ha	550	800	3,2
Produzione	t/ha	50	2,5	18
Ricavi vendita energia e sottoprodotti	€	2.414.375	846.00	14.130
Costi annui di esercizio impianto energia	€	1.740.468	738.557	13.966
Reddito netto	€	673.907	107.443	164
Reddito netto ad ettaro per coltura dedicata	€/ha	1.225	134,30	51,00

Fig7 - Reddito netto derivante dalla produzione di energia nelle tre filiere esaminate. Rielaborato da: "I Supplementi di Agricoltura n° 41"

L'aspetto economico va però affiancato alla considerazione che questa tipologia di impianti rappresenta una soluzione interna all'azienda per lo smaltimento di sottoprodotti altrimenti problematici.

Da qui l'interesse per un'indagine completa e multidisciplinare sulla fattibilità d'utilizzo di biodigestori di dimensioni ridotte e di gestione semplificata da affiancare ad aziende agricole o industrie me-

zio piccole di trasformazione di prodotti alimentari presenti sul nostro territorio che utilizzassero i propri scarti produttivi per generare energia da fonti rinnovabili, rivalutandoli in questo modo e trovando un metodo alternativo per il loro smaltimento.

Il primo passo che si è reso necessario per intraprendere quindi tale percorso di studio è stato quello di realizzare un prototipo da laboratorio capace di simulare un digestore anaerobico, da cui poter trarre dei primi risultati utilizzabili in studi futuri.

Capitolo 1

IL PROTOTIPO

Macchinari da laboratorio più o meno complessi e completi per poter eseguire dei test di fermentazione anaerobica in vitro, in modo da poter caratterizzare la fermentescibilità del substrato desiderato, sono disponibili sul mercato ma sono anche molto costosi.

Non essendovene disponibili al momento, in sede universitaria, si è deciso di intraprendere la realizzazione di un modello semplificato, utile ad eseguire test preliminari indagativi su questa tematica, senza dover impiegare capitali consistenti per l'acquisto del macchinario.

E' stato quindi progettato e realizzato il fermentatore composto da:

- un box in legno con rivestimento interno di polistirolo e materiale termo riflettente per creare una camera termica
- due beute codate che hanno il compito di digestore e accumulatore di gas
- raccorderia in tubi di silicone con valvole di non ritorno e rubinetteria
- un agitatore magnetico
- manometro e vacuometro ad orologio
- valvola meccanica di massima pressione per preservare alcune componenti del sistema e gli strumenti d'analisi eventualmente collegabili
- una elettrovalvola
- un sensore di pressione
- una scheda elettronica di controllo con alimentatore dedicato

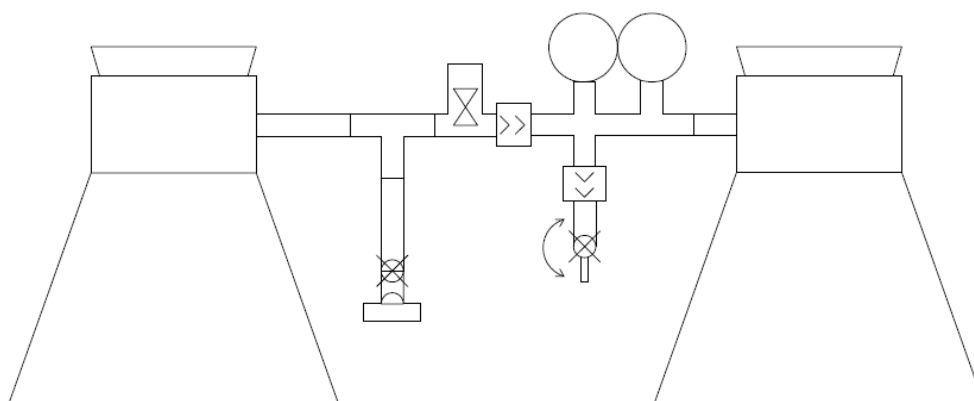


Fig8 - disegno schematico impianto elementi principali

Il prototipo così realizzato è fatto in modo tale da poter funzionare per molte ore consecutive, consentendo anche di lasciare il macchinario acceso durante le ore notturne senza aver timore di perdere qualche dato significativo per la prova in corso.

Il sistema vuole riprodurre il funzionamento di un impianto di digestione anaerobica nei suoi aspetti funzionali principali, poiché si ricordi che trattandosi proprio di un kit da laboratorio non tutte le condizioni di processo possono essere realmente simulate con precisione.

L'elemento principale di tale tipologia di impianti è, ovviamente, il sito di digestione: il luogo in cui il substrato da utilizzare viene raccolto, mantenuto ad una temperatura ottimale per il processo desiderato e movimentato lentamente a mezzo di ancore meccaniche per un periodo di tempo variabile (tempo di residenza) in base alla natura del substrato stesso e ad altre variabili del processo, come la temperatura di digestione. La movimentazione è necessaria per liberare il gas prodotto dalla fase liquida e quindi raccoglierlo nella parte superiore del fermentatore.

Queste funzioni sono in parte svolte dalla beuta di fermentazione, dall'agitatore magnetico sui cui è collocata e dal box provvisto di isolamento termico.



Fig9 - Dettaglio isolamento box in legno

Fig10 - Visuale interna del sistema completo (pagina seguente)

Come il materiale viene introdotto nei digestori di grande taglia, in questo prototipo una quantità nota di substrato viene introdotto nella beuta di fermentazione insieme al liquido di inoculo scelto e preparato precedentemente, in tutto è messo in lenta agitazione a mezzo di ancoretta magnetica.

La temperatura preimpostata viene raggiunta e mantenuta pressoché costante all'interno del box.

Negli impianti in grande scala il settore successivo può prevedere un sistema di raccolta e stoccaggio del biogas dopo un suo trattamento di purificazione; nel nostro caso tale settore è stato collocato ugualmente nel box termico in modo tale da poter considerare costante la variabile T nei calcoli da svolgere successivamente per la quantificazione del gas.

Il gas prodotto durante il processo fermentativo viene via via allontanato dal settore di digestione, risucchiato dalla depressione preimpostata nel settore di raccolta a lui adiacente e in comunicazione a mezzo di tubi in silicone.

L'allontanamento del gas garantisce la continuazione dell'attività fermentativa, evitandone una eventuale inibizione causata dalla saturazione dello spazio di testa e dalla conseguente solubilizzazione dello stesso gas nella fase liquida presente nel digestore.

I due settori sono separati da una elettrovalvola normalmente chiusa, che consente quindi di mantenerli separati a meno di un comando manuale dell'operatore o automatico della scheda di controllo



Capitolo 2

LA PROGETTAZIONE

Per la realizzazione di tale scheda elettronica, in grado di tradurre in vari comandi la sola oscillazione della pressione del sistema, è stata necessaria la collaborazione dell'Ingegnere elettronico Dott. Carlo Cattani del collega Dott. Dario Felli con la supervisione del Prof. Giovanni Basso della Facoltà di Ingegneria Elettronica.

Partendo quindi dalle indicazioni dell'input fisico di cui era necessario il continuo monitoraggio, e in base alle informazioni che si volevano poter ricavare da ogni test, è stata individuata la componentistica adatta alla creazione della scheda.

Successivamente tramite il programma di simulazione PSpice è stata verificata l'attendibilità dell'esecuzione della procedura e quindi si è potuto passare alla progettazione dell'architettura della scheda stessa.

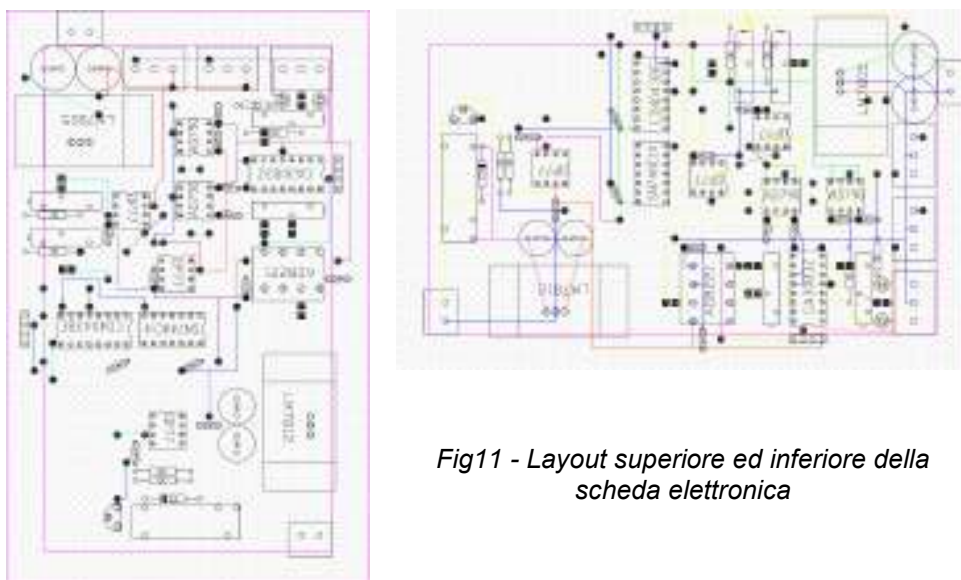


Fig11 - Layout superiore ed inferiore della scheda elettronica

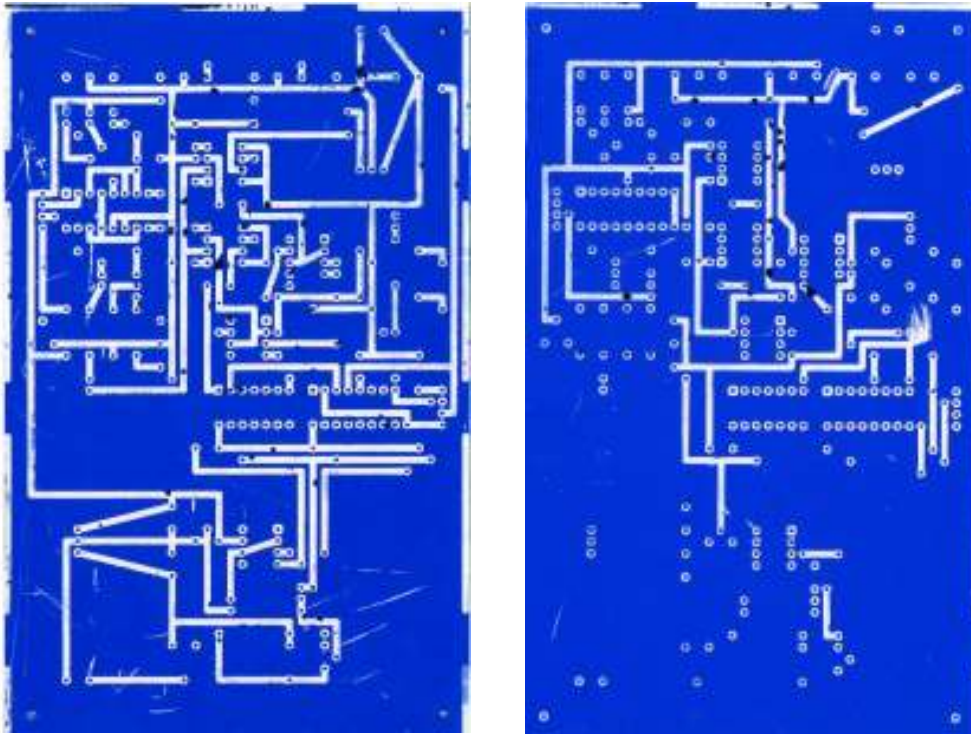


Fig13 - Negativo del foglio di stampa dopo il processo di sviluppo termico

Dopo un successivo procedimento di sviluppo che consisteva nell'immersione della basetta di rame nel cloruro ferrico, la scheda riportava impresse le piste del circuito le quali, per garantire una maggior durata nel tempo, sono state successivamente ricoperte con uno strato di stagno con funzione protettiva contro l'ossidazione che ne avrebbe compromesso il corretto funzionamento.

Rimaneva l'ultimo passaggio da eseguire: il posizionamento dei vari componenti che sono stati saldati sulle piste.

Una volta così creata fisicamente la scheda, a mezzo della strumentazione dei laboratori di ingegneria si è potuto procedere con la taratura, necessaria per l'esecuzione delle funzioni desiderate, di alcuni componenti.

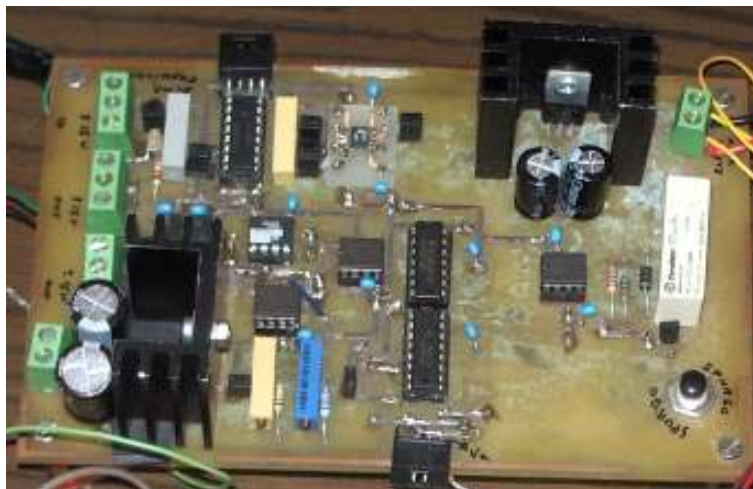


Fig14 - foto della scheda elettronica ultimata

Anche l'alimentatore abbinato alla scheda da $\pm 13\text{VDC}$ è stato costruito ad hoc seguendo la stessa procedura partendo da singoli componenti.

Questa scheda di controllo, composta da una serie di componenti elettronici discreti, gestisce:

- il sensore di pressione
- l'elettrovalvola
- il contatore delle aperture
- il contatore del raggiunto stato di equilibrio
- il contatore del LAG di attivazione

Il sensore di pressione è stato scelto per avere una sensibilità molto alta ed ha un campo di misura dai 1,0 ai 20 psi.

Esegue una misurazione di tipo differenziale, dato che pone a confronto la pressione esterna dell'ambiente con quella interna al sistema su cui è collocato, infatti si può osservare nella parte posteriore il foro verso l'esterno.

A causa dell'incognita delle pressioni massime raggiungibili, una volta che i due rami dell'impianto entrano in equilibrio, si è reso necessario equipaggiare il sistema con una valvola meccanica di massimo, tarabile in modo da preservare le membrane interne del sensore da rottura, per limite di servizio raggiunto.

L'elettrovalvola è stata scelta in base alla sua bassa dispersione di gas. Alimentata a 12 VDC ricavati da trasformatore collocato a bordo della scheda, è di tipologia normalmente chiusa, il che significa che se non alimentata presenta i dotti chiusi.



*Fig15 - sensore di pressione
(sopra)*

Fig16 - elettrovalvola (a sinistra)

Il contatore di aperture è composto da una serie di led e da un componente discreto che permette di effettuare il conteggio di tipo binario. Proprio per questo ha un'elevata capacità di conteggio, da 0 a 4095.

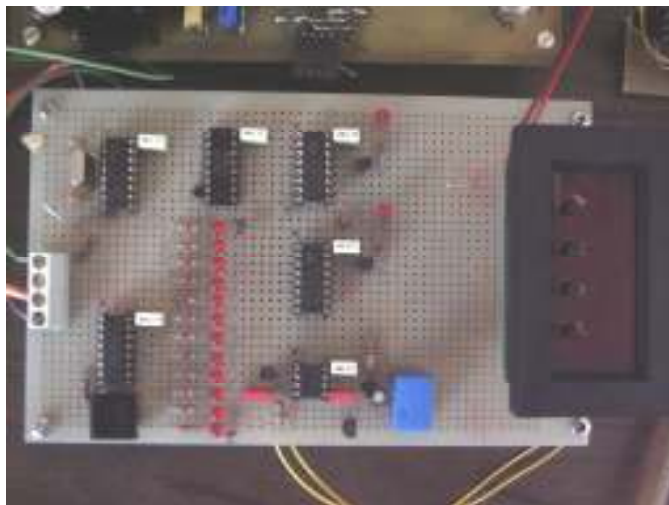


Fig17 - Scheda del contatore di aperture a led e display contatore di raggiunto equilibrio.

Il contatore del raggiunto stato di equilibrio è un modulo pre-costruito, comunque è stato necessario apportargli due modifiche. La prima per far sì che il comando manuale di reset del conteggio potesse essere azionato direttamente dalla scheda. La seconda consiste nell'assemblaggio di un clock realizzato a componentistica discreta che è stato tarato in modo tale da far avanzare di un'unità il contatore ogni 10 secondi. Così impostato lo strumento ha un conteggio di circa 28 ore.

Si può però variare il range di conteggio modificando la taratura del clock di comando, in modo da poterlo adattare anche ad altre tempistiche. Ha per costruzione un'incertezza di ± 10 secondi.

Il contatore di lag è ancora un kit modificato per l'automatizzazione a scheda. È stato aggiunto come ultimo componente. Corredato da un mini relè dedicato, ha la sola funzione di attivare il conteggio a partire dalla prima apertura. Ha un reset automatico, conta in scala di minuti e per alcune interferenze sulla scheda ha un errore di ± 2 minuti all'avvio del conteggio.

Si dispone anche di uno schema per realizzarlo con componenti discreti. Pur potendo essere migliore e di maggiore precisione non si è potuto adottare questa soluzione a causa dell'irreperibilità del componente in tempi ristretti.

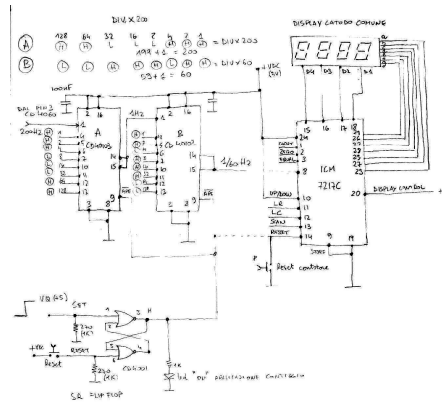


Fig18-schema alternativo per la costruzione di un contatore di lag

I dati forniti dai contatori, una volta convertiti nell'opportuna unità di misura temporale servono a risalire, dal tempo di fine esperimento, al momento del presentarsi del dato evento (prima apertura dell'elettrovalvola o stallo del sistema).

Una scheda non realizzata fisicamente ma solamente a livello progettuale è quella dedicata al controllo di temperatura. A mezzo di 5 sensori e in base ad una logica di controllo interno può sostituire il sistema di termostatazione della resistenza del box.

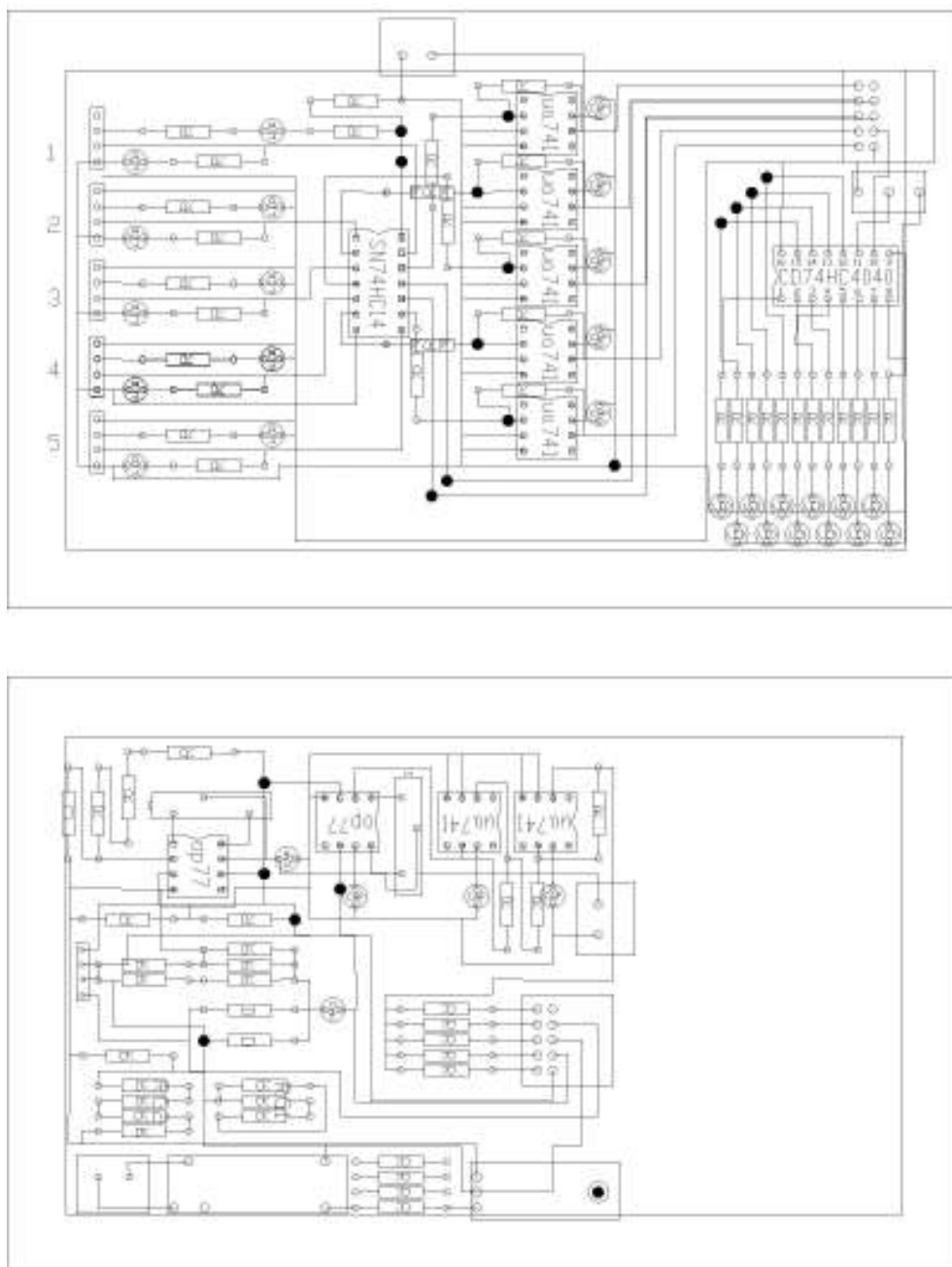


Fig19 - Layout della scheda per il controllo della temperatura.

Capitolo 3

IL FUNZIONAMENTO

Nello svolgersi dell'esperimento una volta avviata la fermentazione, al raggiungimento di un incremento di pressione pari a 25 mbar il sensore di pressione, collocato tra il fermentatore e l'elettrovalvola, dà il consenso alla scheda elettronica per impartire l'ordine di apertura della valvola.

L'input principale deriva quindi dal sensore di pressione che, incrementando la tensione ai suoi capi, attraverso un componente collocato sulla scheda fa eseguire le seguenti operazioni:

- Apre l'elettrovalvola
- Incrementa di uno il contatore delle aperture
- Abilita il conteggio del contatore del raggiunto stato di equilibrio
- Solamente al momento del primo comando abilita anche il conteggio del contatore di LAG

Si ha quindi il passaggio passivo del gas dalla zona a pressione maggiore a quella posta in depressione e quindi il ristabilirsi del valore di pressione dalla parte del sensore.

Quindi una volta che tale componente rileva il valore di pressione iniziale, l'input precedente si disattiva e così la scheda impone un altro ordine che:

- Chiude l'elettrovalvola
- Arresta il contatore del raggiunto stato di equilibrio facendogli mantenere in visione sul display il valore raggiunto

All'input seguente, la procedura si ripete, ma prima di abilitare il conteggio del contatore del raggiunto stato di equilibrio questo viene resettato per dare inizio al nuovo conteggio dal valore 0.

Il metodo di funzionamento del contatore sopra citato si giustifica per quanto segue: non si può sapere a priori quando lo stato di stallo tra i settori, a monte e a valle della valvola, si può presentare, quindi il contatore si attiva ogni singola volta, il dato utile sarà solamente l'ultimo.

Il mantenimento del valore raggiunto ha anche una funzione di salvataggio del dato utile nel caso in cui, dopo che lo stallo è pervenuto, per un guasto nel sistema la pressione venga persa .

Al termine della prova si è quindi in grado di conoscere:

- Il numero di aperture eseguite fino al momento dello stallo del sistema
- Dopo quanto tempo si è verificato il primo passaggio di gas
- Da quanto tempo il sistema ha raggiunto lo stallo

Inoltre dalla lettura del manometro e del termometro si possono conoscere le ultime due variabili utili al calcolo quantitativo, la pressione e la temperatura del sistema a fine prova.

In base quindi alla stima del volume del sistema si può risalire al quantitativo di gas prodotto dalla fermentazione svolta in quelle date condizioni e nell'arco di tempo dell'intero esperimento.

I riferimenti temporali forniti dai contatori sono utili per conoscere e stimare la prontezza dell'inoculo utilizzato e la predisposizione del substrato preso in esame ad essere fermentato.

Tali dati possono poi essere affiancati da analisi qualitative del gas ottenuto, grazie alla possibilità di effettuare prelievi di campioni, completando la valutazione quantitativa e definendo anche la "bontà" del substrato per fini energetici in termini di resa percentuale

in gas metano.

Da ultimo il residuo contenuto nel digestore può essere analizzato per poterne stimare le caratteristiche chimiche e quindi poter individuare un'ideale via di smaltimento.

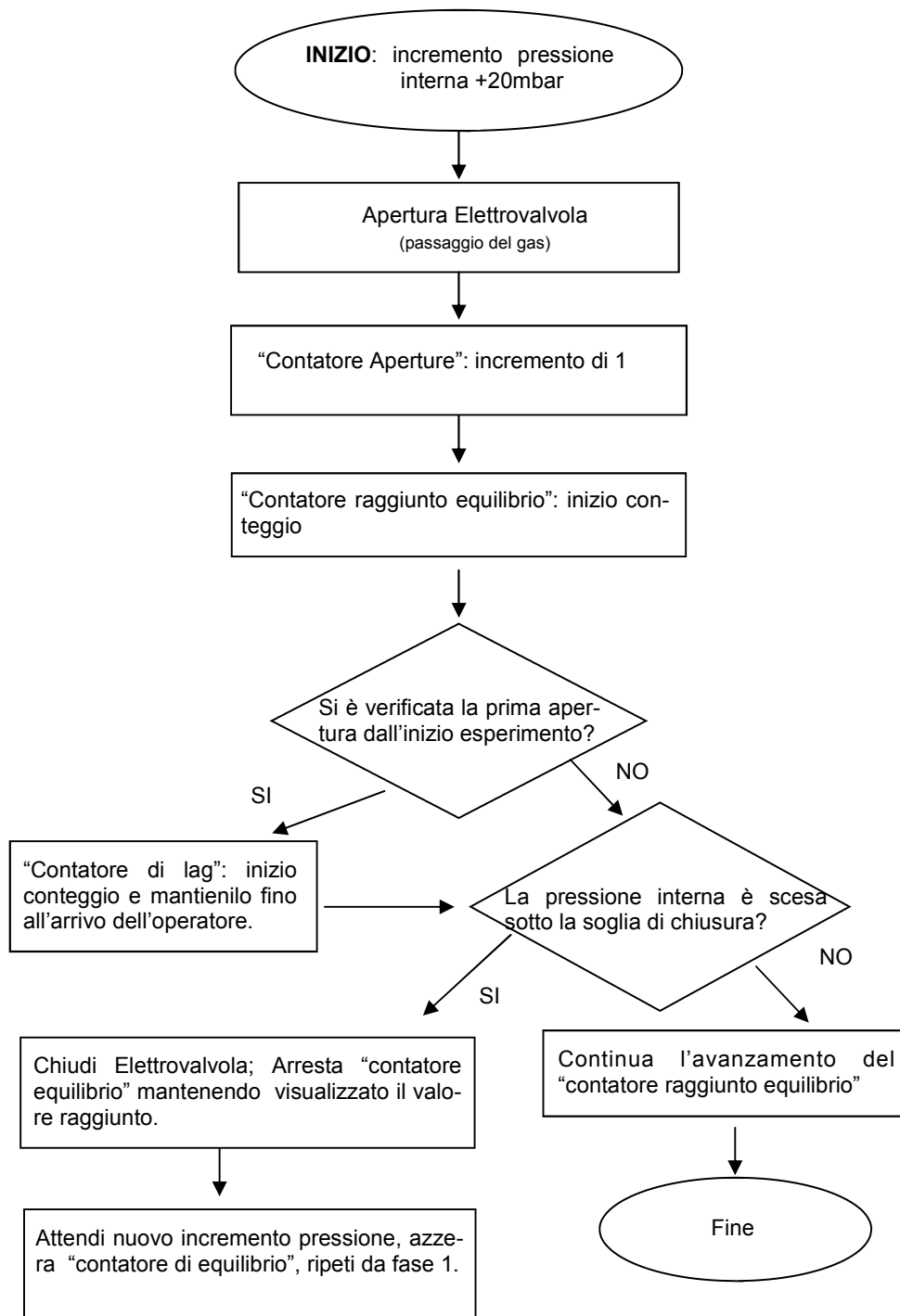


Fig20 - Diagramma di flusso della logica del circuito.

Capitolo 4

LA QUANTIFICAZIONE DEL GAS PRODOTTO.

Per conoscere la quantità di gas prodotto dalla fermentazione è necessario applicare la formula generale dei gas:

$$P \cdot V = nRT$$

Tale formula considera, in un'unica soluzione, le variabili che descrivono la condizione iniziale in cui un gas si trova: pressione, volume e temperatura. Tramite la costante R ne quantifica il numero di moli che sono “responsabili” di tali valori.

Usando questa formula generale, vengono considerate contemporaneamente le trasformazioni che un gas sottoposto ad un lavoro può subire: trasformazione isocora, isobara, isoterma; trasformazioni che a meno di un ambiente sperimentale altamente controllato si verificano ad ogni azione compiuta a carico del gas stesso, come una semplice compressione o dilatazione (nel caso del collegamento della beuta fermentatore al sistema, quando questo è chiuso, o della siringa) o ancora quando i due settori vengono messi in comunicazione.

Conoscendo quindi le condizioni finali in cui lo stesso gas si trova al termine del test, è possibile ricalcolare il numero di moli di gas ottenute nel corso della fermentazione.

La pressione iniziale di riferimento in questo sistema è quella atmosferica: ogni volta che viene effettuata una prova essa è annotata e le viene sottratto il valore letto sul vacuometro per determinare la decompressione presente nella beuta ove il gas è raccolto.

Componenti	mm ³	n°	mm ³
"T" nuovi	2389,181	3	
"t"vecchi	2787,378	1	
Riduttore	1010	1	
Raccordi	1173,778	4	
Rubinetto	381,704	1	
Non Rit	520	2	
	600	2	
Beuta G	319000	1	
Beut F	700000	1	
Volumi sezioni:			
sistema ricezione gas in depressione			330224,148
sistema ricezione gas			(equivale a quello precedente)
sistema fermentatore			704572,959
sistema stallo (volume totale)			1034797,107

Fig21 - Tabella della stima dei volumi dei singoli componenti del sistema.

Il volume del prototipo è stato stimato per tutti i componenti, considerando anche le singole giunture della raccorderia.

La temperatura, come vedremo successivamente, è quella imposta dal termostato del box, anche nel caso del valore iniziale.

Capitolo 5

DESCRIZIONE DELLE PROVE ESEGUITE.

Per testare il funzionamento del sistema sono state eseguite delle prove differenziate.

Le prime sono servite a delineare la procedura d'avvio necessaria a impostare nel modo più corretto possibile i test con il prototipo, senza incorrere in azioni che falsassero l'esito delle prove.

Hanno avuto quindi una funzione di pura osservazione delle reazioni del sistema.

Le prove successive sono invece state utili per determinare il corretto funzionamento del sistema cercando di valutare se avesse una certa ripetibilità nei risultati finali. Tali prove sono accompagnate da una serie di dati registrati.

La necessità di seguire i passi d'avvio del prototipo nasce dall'elevata sensibilità del sensore di pressione.

La raccorderia, che collega i vari componenti del sistema, permette di avere una bassissima, se non nulla, dispersione di gas. Questo fa' sì che quando si collega la beuta, che ospita il substrato e l'inoculo di fermentazione al resto dell'apparecchiatura, oppure, quando con la beuta già innestata si procede alla sua chiusura calzando bene il tappo in modo da garantire una buona tenuta, si crea una sovrappressione interna che, non appena la scheda elettronica è alimentata viene registrata dal sensore, il quale prontamente innescava l'avvio di tutti gli altri componenti elettronici, come se vi fosse già una produzione di gas portando quindi ad una evidente falsatura del test.

Va da sé che, con il test pronto per l'inizio, questo evento avrebbe portato a un errore grossolano che quindi costringeva alla ripetizione dei preparativi appena eseguiti.

Per ovviare a tale inconveniente è stato quindi aggiunto un tasto di spurgo a bordo della scheda, in modo da consentire anche manualmente l'apertura dell'elettrovalvola, funzione che prima era esclusivamente automatica. Tale spurgo permette quindi di mantenere aperta la valvola quando si devono compiere alcune azioni nelle quali si può creare involontariamente una sovrappressione.

Un altro errore sempre molto evidente, che obbligava a preparare nuovamente la prova, era quello dell'accensione delle resistenze o dell'agitatore successiva all'accensione della scheda di controllo.

Probabilmente, per la presenza dei circuiti scoperti della basetta e di alcune bobine di comando, si verificava un disturbo sull'alimentazione indotta dalle forti correnti di spunto dei componenti sopra citati, tale da simulare un segnale di input "fantasma".

Risulta quindi necessario porre attenzione sull'ordine di accensione dei vari componenti.

Altri accorgimenti derivano invece dalla volontà di cercare di impostare all'inizio dei test la maggiore costanza dei parametri da utilizzare per il calcolo quantitativo.

Perciò è necessario, oltre che utilizzare sempre lo stesso quantitativo, in volume, di substrato e inoculo per non variare lo spazio di testa della beuta fermentatore, anche controllare sin dall'inizio la temperatura interna dopo la chiusura del fermentatore e ancor prima di impostare la depressione nel settore gas, necessaria al funzionamento del prototipo.

L'innalzamento della temperatura nel box fino ai 40°C può influire apportando variabilità da prova a prova proprio nella fase di avvio del test (l'aria nel fermentatore si dilata per il riscaldamento, e non per gas formatosi, e quindi da' il via prima del tempo ai contatori), o nei valori di quantità calcolati successivamente, perché la depressione viene diminuita sempre dalla temperatura di esercizio.

Dopo aver individuato e risolto tutti queste problematiche la procedura di avvio messa a punto è la seguente:

PROCEDURA AVVIAMENTO PROTOTIPO

- Immettere il campione nel fermentatore in quantità volumetriche note e costanti per mantenere invariato lo spazio di testa
- Agganciare la beuta di fermentazione
- Chiudere il tappo della beuta fino alla linea di riferimento
- Aprire il rubinetto di campionamento del settore gas
- Alimentare la scheda di controllo
- Attivare lo spurgo manualmente
- Attivare le resistenze del box
- Chiudere il box e attendere il raggiungimento dei 40°C (a questo punto l'aria dell'impianto e del box sono alla stessa temperatura essendo in comunicazione tramite il rubinetto di campionamento)
- Spegnerne il circuito
- Creare depressione
- Accendere piastra al minimo
- Alimentare le schede
- Accelerare l'agitatore fino a raggiungere la velocità di rotazione desiderata
- Annotare temperatura iniziale, depressione iniziale, pressione del laboratorio giornaliera, temperatura del laboratorio.

FINE PROCEDURA DI AVVIO/INIZIO TEST

Le prove di tipo quantitativo sono state effettuate per testare la ripetibilità del sistema “sensore pressione-elettrovalvola-accumulatore gas”.

L'accumulatore del gas era posto a un valore di depressione rispetto all'atmosfera di 65 cmHg grazie all'ausilio della pompa ad acqua. Veniva quindi raggiunto un valore interno di 0,15 atm.

Per tale prova è stato necessario collegare una siringa da 50 ml in sostituzione della beuta fermentatore. Esercitando una pressione costante e lenta sullo stantuffo della siringa si comprimeva l'aria interna alle condutture fino a raggiungere il valore di apertura dell'elettrovalvola.

L'uso della siringa da 50ml è stato reso necessario perché alle prime aperture dell'elettrovalvola il risucchio, indotto dalla differenza di pressione iniziale tra i due settori, era talmente forte da scaricare completamente lo spazio residuo rimasto nelle siringhe di minori dimensioni dopo la corsa di compressione della siringa necessaria ad indurre l'apertura dell'elettrovalvola questo impediva di valutare il valore del volume effettivamente assorbito per ogni singola apertura.

Capitolo 6

VERIFICA DEI DATI OTTENUTI.

Per accertarsi che i dati ottenuti dalle prove rappresentino effettivamente la capacità di ripetizione del sistema sono stati eseguiti dei test statistici.

Il metodo di indagine statistica adottato è quello dell'ANOVA ad un criterio, che è in grado di effettuare simultaneamente la verifica di un'ipotesi iniziale, su tutti i campioni presi in esame. Con questo metodo è possibile quindi definire se i dati collezionati nelle varie prove, e quindi le prove stesse, sono differenti l'una dall'altra o se effettivamente sono riconducibili ad un fenomeno comune e quindi risultino "uguali statisticamente".

L'elaborazione dei dati consiste nel verificare se il valore medio, calcolato per il parametro voluto, di ciascuna prova sia affetto o meno da una quantità di variabilità maggiore o minore rispetto alla media comune dei dati dello stesso parametro, di tutte le prove. Se tale quantità risultasse superiore ad un valore tabulato significherebbe che non tutte le prove eseguite sono l'espressione dello stesso fenomeno, mentre al contrario, se tale valore risultasse minore avremmo l'indicazione che tutti i dati rappresentano uno stesso fenomeno e che quindi il prototipo da laboratorio è funzionante.

Di seguito si riportano le tabelle con i dati ottenuti dalle sette prove quantitative, dati suddivisi in base al parametro desiderato. L'esecuzione della prova consisteva nell'indurre l'apertura dell'elettrovalvola utilizzando una siringa graduata per simulare l'incremento di pressione. Per ciascun test, e per ogni replica dello

stesso test, venivano annotati i valori dei tre parametri contemporaneamente. In tutte le prove si è riscontrato il raggiungimento dello stato di equilibrio della pressione ogni 33 aperture.

Per ogni tipologia di dato è stato effettuato un test ANOVA.

TEST GRUPPO “SENSORE-ELETTROVALVOLA- ACCUMULATORE”

Parametro misurato: Volume compresso

Volume aspirato

Variazione pressione

Dalle tabelle che riportano i dati delle singole repliche sono state estrapolati i valori necessari ad effettuare l'analisi statistica dopo la loro riorganizzazione secondo il disegno sperimentale scelto.

I dati sono organizzati in modo che in riga vengano elencati i valori delle J-esime repliche di lettura effettuate nei 7 test (“i” trattamenti) elencati in colonna.

Capitolo 6 - Verifica dei dati ottenuti

	Y_{ij}	<i>"i" trattamenti</i>						
		A	B	C	D	E	F	G
r e p l i c h e	1	2	2	2	1	2	2	2
	2	4	3,5	3	4	3	3,5	2,5
	3	3,5	3	3	3	3	2,5	2,5
	4	2	2	2	2	2,5	2	2
	5	3,5	4,5	3	3	4	3,5	4
	6	2,5	3,5	3	3,5	3,5	2,5	3
	7	2	2	2	2	2	2	2
	8	3	3,5	2,5	4	3	4	3
	9	3,5	3	3,5	3	2,5	2	2
	10	2	2	2	2	2,5	2	2
	11	3	4	3	4	4	4	3,5
	12	3	3	2,5	3	3	3	2,5
	13	2	2	2	2	2	2	2
	14	1,5	4	3	3,5	4,5	4	4
	15	10,5	7	1	2,5	8	2,5	3
	16	3	2	2	2,5	3	2	2
	17	4	3,5	3	2	3,5	3	4
	18	3	2,5	3	3	1,5	3	3
	19	2	1,5	1,5	3	2	2	2
	20	2	2	2	2,5	2	3	2,5
	21	2	4	3,5	1,5	2,5	3	3,5
	22	2,5	2	2,5	2	2,5	2	3
	23	2	2	1	2	2	2,5	2
	24	1	1,5	0,5	4	1	1,5	5,5
	25	2	2	0,5	1,5	2	2	2
	26	2,5	1	2,5	2	3	2,5	2
	27	1	2	3	1	1,5	2	2
	28	1,5	1	1,5	1	2	1	1
	29	1	1,5	1,5	2	1	1,5	1
	30	0,5	0,5	1,5	1	1	1	1,5
	31	0	0	0	0	1	0,5	1
	32	1	0	1	1,5	1	1	0
	33			1	3			

Fig22 - Tabella dei dati relativi alle prove di compressione

Capitolo 6 - Verifica dei dati ottenuti

	Y_{ij}	"i" trattamenti						
		A	B	C	D	E	F	G
	1	10	10	10	10	10	10	10
	2	10	10	10	10	10	10	11,5
	3	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	11	10,5
	4	10	9,5	10	10	9,5	10	10
	5	10	9	10	10	9	10	10
	6	11	10	11	10	10,5	11	10,5
	7	10	9,5	10	9	10	9	10
	8	10	10	10	9	10	10	11
	9	10	10	10	10	10	10,5	10,5
	10	9	9	9	9	8,5	9	9
r e p l i c h e	11	9	9	9	8,5	9	8,5	9,5
	12	9,5	9	10	9,5	9	9,5	9,5
	13	8	8	8	8	7	7,5	7,5
	14	2	8	8	7,5	2,5	7,5	8,5
	15	8,4	4	2	8	9	8	7,5
	16	6	7	7	8	6	7	6
	17	6	7	7	6	6,5	7	6,5
	18	6	7,5	6,5	6	8	6	6,5
	19	7	7	7	6	6,5	7	7
	20	6	5	4,5	6,5	6	5	5
	21	5	5	5	5,5	5	5,5	4
	22	5	5	5	5	5	5	4,5
	23	5	5	5,5	4	5	4	1
	24	4,5	5	5,5	2,5	5,5	4,5	5
	25	3,5	4	4,5	4	3	3,5	4
	26	4	4	2,5	3	3,5	3	2
	27	3,5	3,5	3	3	3	4	4
	28	3	2,5	2	3,5	2,5	2,5	2
	29	2,5	3	2,5	3	1,5	2	2,5
	30	3	2,5	2,5	2	3	3	2
	31	2	3	2,5	2,5	3	2,5	1,5
	32	2	2,5	1	2	2	1	2
	33			1	0			

*Fig23 - Tabella dei dati relativi
alle prove di aria aspirata ad ogni
apertura dell'elettrovalvola*

	Y_{ij}	<i>"i" trattamenti</i>						
		A	B	C	D	E	F	G
	1	4	4	4	4	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	3	3,5
	3	3	3	3	3	3	3	1,5
	4	3	3	3	3	3	3,5	5
	5	3	3	3	11	3	2,5	3
	6	3	3	3	3	3	3	3
	7	3	3	3	3	3	3	3
	8	3	3	3	3	3	3	3
	9	3	2,5	3	3	3	3	3
	10	3	2,5	2	2,5	3	3	2
r e p l i c h e	11	2	3	3	2,5	2	2	3
	12	3	2,5	2,5	3	3	3	2,5
	13	2,5	2,5	2,5	2	2	2,5	2,5
	14	2,5	2	2	2,5	3	2,5	2
	15	2	3	3	2,5	2	2	3
	16	2,5	5	2	2	2	2	2
	17	2	2	2	2	2	2,5	2
	18	2	2	2	2	2	1,5	2
	19	1,5	2	2	2	2	2	2
	20	2	2	2	2	2	2	2
	21	2	2	2	2	2	2	1
	22	1	1	1	1	1	1	2
	23	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	1
	24	1,5	1,5	1,5	1,5	2	1,5	2
	25	1	1	1	1	1	1	1
	26	1	1	1	1	1	1	1
	27	1	1	1	1	1	1	1
	28	1	1	1	1	1	1	1
	29	1	1	1	1	1	1	1
	30	1	1	1	1	1	1	2

Fig24 - Tabella dei dati relativi alle variazioni di pressione del settore di raccolta gas.

L'ipotesi iniziale, detta H_0 , che viene formulata per ogni test statistico che segue questa metodologia di indagine, asserisce per definizione: "nessuna variabilità", e cioè che tutti i trattamenti eseguiti sono uguali tra loro.

Tale ipotesi viene anche formulata simbolicamente come

$$H_0: \alpha_i = 0$$

Con α_i si indica la differenza tra le medie dei singoli trattamenti, e la media generale ottenuta con tutti i dati tabulati.

$$\alpha_i = \mu_i - \mu = 0 \rightarrow \mu_i = \mu$$

Se tale ipotesi viene verificata dal test, allora come detto prima i vari trattamenti, cioè le prove, sono statisticamente uguali tra di loro dato che singolarmente generano delle medie uguali tra loro; risulta quindi che il funzionamento del prototipo è costante nelle varie prove.

Effettuati i calcoli del test per tutti e tre i parametri si evidenzia come i valori dei tre TEST F risultino sempre molto minori rispetto al valore tabulato teorico dello stesso TEST per pari gradi di libertà a prescindere del valore di probabilità richiesto (0,05 ; 0,01). Il prototipo dimostra quindi di avere un funzionamento ripetibile.

Fig25 - Tabelle riassuntive confronto valori test F calcolati e tabulati

ANOVA ASPIRAZIONE	
F_{6,219}	0,04384353
F critici 0,05	2,140145404
F critici 0,01	2,885220035

ANOVA COMPRESSIONE	
F_{6,219}	0,469024983
F critici 0,05	2,140145404
F critici 0,01	2,885220035

ANOVA VARIAZIONE VUOTO	
F_{6,203}	0,248621345
F critici 0,05	2,143452883
F critici 0,01	2,891890567

Capitolo 7

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Al termine di tutte le prove eseguite e delle valutazioni e considerazioni citate nella descrizione della tesi, si può quindi considerare che il prototipo da laboratorio, pur non essendo un macchinario assemblato da ditte del settore, può rappresentare un sistema utilizzabile per iniziare ad affrontare la tematica dello studio della fermentescibilità dei vari substrati, per valutare le potenzialità di produzione di energie da fonti rinnovabili disponibili come residui o sottoprodotti di attività agricole o di prima trasformazione.

La possibilità, infatti, di avere una stima riproducibile della quantità di gas emesso da un substrato e di poter accumulare tale gas in un contenitore separato al quale poter applicare uno strumento per l'analisi qualitativa del gas stesso, consente di confrontare diversi substrati a parità di condizioni.

Visto il gran numero di variabili che possono influire sull'esito dei singoli esperimenti, oltre che ad una scrupolosa annotazione dei dati ambientali di inizio e fine esperimento, si consiglia di creare un proprio protocollo di analisi per ridurre le fonti di errore e variabilità al minimo.

Si raccomanda quindi di attenersi strettamente alla procedura di avvio del test per ovviare a imperfezioni derivanti dal sistema hardware e di definire inizialmente il giusto rapporto tra il substrato da utilizzare e l'inoculo necessario. Nel caso di substrati liquidi come la scotta, o di altri che presentano una bassa percentuale di Sostanza secca, bisogna avere l'accortezza di variare eventualmente il

volume della beuta fermentatrice, in modo tale da garantire sempre uno spazio di testa della beuta, e quindi del sistema in generale, il più costante possibile per standardizzare tutti i test.

Una prospettiva futura di utilizzo del modellino da laboratorio potrebbe essere quella di prendere come soggetto d'indagine la zona di Coltano, con le sue produzioni tipiche e le varie aziende insediate.

L'indagine potrebbe considerare l'utilizzo di materiali poveri reperibili nella zona indicata, come le paglie, abbinandole ad altri sottoprodotti, come la scotta o il glicerolo, al fine di testarne la resa in biogas prevedendo come inoculo del digestore l'utilizzo del materiale derivante dallo svuotamento dei ruminanti ricavabile dai macelli.

Un altro aspetto di indagine affrontabile potrebbe essere l'utilizzo di liquidi ruminali freschi o congelati, presi singolarmente, da destinare all'attivazione o riattivazione di un digestore estinto, escludendo quindi la parte fibrosa del contenuto ruminale.

In parallelo a tali prove da laboratorio si potrebbero condurre test sul post-digestato per verificarne la sua utilizzabilità o meno in campo agricolo, per verificare la possibilità di chiudere il ciclo nella stessa zona senza dover ricorrere a vie di smaltimento specializzate.

Bibliografia

- EEA (2006), How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?, Report No 7/2006, Copenhagen
- FAO (2007), Assessment of the World Food Security Situation, CFS2007/2, Roma.
- Roe J. D., Jolly R.W., Wisner R. N., Another Plant?!...The Rapid Expansion in the Ethanol Industry and its Effect all the Way Down to the Farm Gate, American Agricultural Economics Association Annual Meeting, 2006, Long Beach, USA
- <http://agrireregionieuropa.univpm.it/>
- <http://www.crpa.it/>
- <http://it.wikipedia.org/>
- <http://www.nextville.it/>
- <http://www.key4biz.it/>

